




**DE10117212**

**Patent number:** DE10117212  
**Publication date:** 2002-10-10  
**Inventor:** WILLISCH WOLF (DE); MUELLER ROBERT (DE)  
**Applicant:** DEWIND AG (DE)  
**Classification:**  
- **International:** *F03D7/02; F03D9/00; H02J3/38; H02P9/00; H02P9/42; F03D7/00; F03D9/00; H02J3/38; H02P9/00; (IPC1-7): F03D7/00; H02P9/00*  
- **European:** F03D7/02G; F03D9/00C2; H02J3/38; H02P9/00D; H02P9/42  
**Application number:** DE20011017212 20010406  
**Priority number(s):** DE20011017212 20010406

**Also published as:**

 WO02081907 (A1)  
 EP1379780 (A1)  
 EP1379780 (B1)

**Report a data error here**

**Abstract of DE10117212**

The aim of the invention is a method for operating a wind energy plant, comprising a three-phase generator (3), with a DC intermediate circuit converter (6) in the rotor circuit, for a generator operation with variable rotation speed, which permits the economic generation of electrical energy even in calm wind conditions. Said aim is achieved, whereby the three-phase generator (3) is operated as a double-feed asynchronous generator (DASM) in a normal operation during normal wind conditions and in low wind conditions is switched to and operated as a simple asynchronous generator (ASM), outside the sub-synchronous working region thereof, by separating the stator (4) thereof from the supply network (8) and short-circuiting thereof by a three-phase slipping resistor (14).

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 17 212 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 03 D 7/00**  
H 02 P 9/00

②1 Aktenzeichen: 101 17 212.5  
②2 Anmeldetag: 6. 4. 2001  
④3 Offenlegungstag: 10. 10. 2002

DE 101 17 212 A 1

⑦1 Anmelder:  
DeWind AG, 23569 Lübeck, DE

⑦4 Vertreter:  
Dr. Vonnemann & Partner, 20099 Hamburg

⑦2 Erfinder:  
Willisch, Wolf, Dipl.-Ing., 22147 Hamburg, DE;  
Müller, Robert, Dipl.-Ing., 23564 Lübeck, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

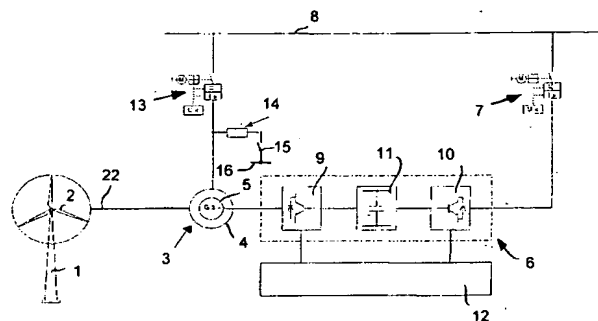
DE 28 45 930 C2  
DE 197 35 742 A1  
DE 44 28 085 A1  
US 52 25 712  
EP 02 45 777 A2

MÜHLÖCKER, Hugo, WARNEKE, Otto: Elektrische  
Ausrüstung einer Windkraftanlage auf Hawaii.  
In: etz, Bd. 111, 1990, H.4, S.176-180;  
WARNEKE, Otto: Einsatz einer doppeltgespeisten  
Asynchronmaschine in der großen  
Windenergieanlage  
Growian. In: Siemens-Energietechnik 5, 1983, H.6,  
S.364-367;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage

⑤7 Ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage mit einem Drehstromgenerator (3) mit einem Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) im Rotorkreis für einen drehzahlvariablen Generatorbetrieb soll die wirtschaftliche Erzeugung elektrischer Energie auch bei schwachem Wind ermöglichen. Dies kann erfindungsgemäß dadurch erreicht werden, dass der Drehstromgenerator (3) bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb als doppelt-gespeiste Asynchronmaschine (DASM) betrieben und bei geringem Wind außerhalb seines untersynchronen Arbeitsbereiches durch Trennen seines Stators (4) vom Stromnetz (8) und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand (14) zu einer einfachen Asynchronmaschine (ASM) umgeschaltet und als solche betrieben wird.



DE 101 17 212 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage mit einem Drehstromgenerator mit einem Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter im Rotor-

[0002] Windenergieanlagen mit Propellerblättern mit verstellbarem Anstellwinkel können mit variabler Drehzahl betrieben werden. Eine typische Anlage besitzt einen doppeltgespeisten Drehstromgenerator, dessen Rotorkreis über einen Spannungszwischenkreis-Umrichter mit dem Stromnetz verbunden ist. Der Umrichter besteht beispielsweise aus zwei IGBT-Pulswechselrichtern, die über einen Gleichspannungszwischenkreis miteinander verbunden sind. Mittels einer feldorientierten Regelung des Umrichters werden frequenzvariable, dreiphasige, sinusförmige Rotorströme angesteuert, die einen überschwingungsarmen Netzstrom im Stator induzieren.

[0003] Das Windungsverhältnis zwischen Stator und Rotor sowie der Spannungssteuerbereich des Generators bestimmen den nutzbaren Schlupfbereich des Generators, der bei bekannten Anlagen bei  $\pm 35\%$  Schlupf liegt.

[0004] Windenergieanlagen mit hoher Leistung, beispielsweise mit 2 MW, erzeugen auch bei geringem Wind noch ein beachtliches Drehmoment, das aber mit den bekannten Betriebsverfahren nicht zur wirtschaftlichen Energieerzeugung genutzt werden kann. Dies liegt daran, dass die Ausnutzung des untersynchronen Drehzahlbereichs beim üblichen Betrieb des Generators als doppeltgespeiste Asynchronmaschine auf eine untere Drehzahlgrenze stößt, bei der eine notwendige Vergrößerung der Umrichterspannung zu unwirtschaftlich hohen Eisenverlusten des Stators am Stromnetz führt. Die so erzeugbare elektrische Energie wird unterhalb einer Grenzdrehzahl kleiner als die vom Stator aus dem Netz aufgenommene Energie.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage anzugeben, das die wirtschaftliche Erzeugung elektrischer Energie auch bei schwachem Wind ermöglicht.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Drehstromgenerator bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb als doppeltgespeiste Asynchronmaschine betrieben und bei geringem Wind außerhalb seines wirtschaftlichen untersynchronen Arbeitsbereichs durch Trennen seines Stators vom Stromnetz und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand zu einer einfachen Asynchronmaschine umgeschaltet und als solche betrieben wird.

[0007] Die Erfindung ermöglicht die wirtschaftliche Erzeugung elektrischer Energie mit Windenergieanlagen sowohl im üblichen Drehzahlbereich als auch bei geringeren Drehzahlen, die die bekannten Betriebsverfahren nicht abdecken. Dadurch können die erfindungsgemäß betriebenen Windenergieanlagen auch dann noch Energie erzeugen, wenn herkömmlich betriebene Anlagen bereits abgeschaltet werden und nutzlos herumstehen. Über große Zeiträume können daher mit einer erfindungsgemäß betriebenen Windenergieanlage im Mittel wesentlich größere Energiemengen erzeugt werden als mit herkömmlich betriebenen.

[0008] In bekannten Windenergieanlagen ist es üblich, dass ein Statorkabel zum Anschluss des Stators an das Stromnetz von dem am oberen Ende des Anlagenturms angeordneten Generator durch den Turm hindurch bis zu einem am Fuß des Turms angeordneten Schaltkasten verläuft, wo es mit dem Stromnetz verbunden wird. In einem solchen Schaltkasten oder in seiner Nähe werden zweckmäßigerweise auch ein Schalter zum Trennen des Stators vom Stromnetz und ein Schalter zum Kurzschließen des Stators

über den dreiphasigen Schlupfwiderstand angeordnet. Bei einer solchen Anordnung kann das erfindungsgemäße Verfahren verbessert werden, indem ein innerhalb der Windenergieanlage vom Stator zu einem Netzanschluss führendes dreiphasiges Kabel als dreiphasiger Schlupfwiderstand verwendet wird. Durch diese Maßnahme kann der Aufwand für einen besonderen Schlupfwiderstand entfallen. Das ohnehin vorhandene Kabel übernimmt einfach die Rolle des Schlupfwiderstands.

[0009] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der im Normalbetrieb als 4-Quadranten-Pulsumrichter dienende Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter des Rotors zum Vollumrichter für den im Stator über den Schlupfwiderstand kurzgeschlossenen Drehstromgenerator gemacht wird.

[0010] Das Verfahren kann noch verbessert werden durch die Maßnahme, dass eine Steuervorrichtung zur Frequenz- und Spannungssteuerung zweier Pulswechselrichter mit Gleichspannungszwischenkreis vorgesehen ist, die von der feldorientierten Regelung der Rotorerregung der doppeltgespeisten Asynchronmaschine auf eine feldorientierte Regelung der einfachen Asynchronmaschine, deren Stator über den Schlupfwiderstand kurzgeschlossen ist, umgeschaltet wird.

[0011] Eine Abwandlung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens für andere Betriebszustände sieht vor, dass der Drehstromgenerator für die Inbetriebsetzung und/oder beim Aufbau der Windenergieanlage als Asynchronmotor betrieben wird, wobei sein Stator vom Stromnetz getrennt und über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand kurzgeschlossen wird.

[0012] Die Erfindung umfasst auch eine Windenergieanlage, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens geeignet und entsprechend ausgestaltet ist.

[0013] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

[0014] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Windenergieanlage;

[0015] Fig. 2 ein Diagramm mit einer normierten Darstellung der erzeugten Leistung in Abhängigkeit von der Drehzahl.

[0016] In Fig. 1 erkennt man einen Turm 1 einer Windenergieanlage mit einem aus drei Propellerblättern bestehenden Propeller 2, bei dem die Anstellwinkel der Propellerblätter stufenlos verstellbar sind, um bei unterschiedlichsten Windverhältnissen ein für die Energieerzeugung ausreichendes Drehmoment über einen großen Drehzahlbereich zu gewährleisten.

[0017] Ein Drehstromgenerator 3 ist über eine mechanische Verbindung 22 mit dem Propeller 2 verbunden und wird von diesem angetrieben. Der Drehstromgenerator 3 besitzt einen Stator 4 und einen Rotor 5.

[0018] Der Stator 4 des Drehstromgenerators 3 kann entweder über einen ersten Schalter 13 mit dem Stromnetz 8 oder alternativ über einen dreiphasigen Schlupfwiderstand 14 und einen zweiten Schalter 15 zu einer kurzgeschlossenen Wicklung elektrisch verbunden werden. Im vorliegenden Schaltbild ist dieser Ständerkurzschluss mit dem Bezugszeichen 16 versehen.

[0019] Der Rotor 5 ist elektrisch mit einem Umrichter 6 verbunden, der seinerseits über einen dritten Schalter 7 mit dem Stromnetz 8 verbunden oder von diesem getrennt werden kann.

[0020] Der Umrichter 6 besteht aus zwei Pulswechselrichtern 9, 10, die über einen Gleichspannungszwischenkreis 11

elektrisch miteinander verbunden sind. Verschiedene Betriebszustände des Umrichters 6 werden mittels einer Steuervorrichtung 12 für die Frequenz- und Spannungssteuerung der beiden Pulswechselrichter 9, 10 hergestellt.

[0021] Im Diagramm der Fig. 2 ist auf der Abszisse eine Drehzahl  $n$  aufgetragen, die auf eine Nenndrehzahl  $n_N$  normiert ist. Es spielt keine Rolle, ob es sich dabei um die Drehzahl des Propellers 2 oder die des Rotors 5 handelt, denn diese beiden Drehzahlen unterscheiden sich höchstens um einen konstanten Faktor, der durch ein ggf. zwischengeschaltetes starres Übersetzungsgetriebe bedingt sein kann. Der konstante Faktor wird aber durch die Normierung des Maßstabs der Abszisse auf die Nenndrehzahl eliminiert.

[0022] Auf der Ordinate des Diagramms von Fig. 2 ist eine auf eine Nennleistung  $P_N$  normierte elektrische Leistung  $P$  des Drehstromgenerators 3 aufgetragen, die dieser an das Stromnetz 8 abgeben kann. Die Leistungskurve des Diagramms besteht aus vier gut unterscheidbaren Abschnitten 17, 18, 19, 20.

[0023] Bei genügend starkem Wind wird die Windenergieanlage im Abschnitt 17 betrieben. Dabei wird die für die Erzeugung der Nennleistung  $P_N$  erforderliche Drehzahl  $n_N$  überschritten. Durch Verstellen des Anstellwinkels der Propellerblätter 2 wird die tatsächliche Drehzahl  $n$  der Windstärke angepasst und dabei durch entsprechende Steuerung des Umrichters 6 mittels der Steuervorrichtung 12 die an das Stromnetz 8 abgegebene Leistung  $P$  konstant auf der Nennleistung  $P_N$  gehalten. Der Drehstromgenerator 3 wird in diesem Bereich im Normalbetrieb als doppeltespeiste Asynchronmaschine, der Umrichter 6 mittels der Steuervorrichtung 12 als 4-Quadranten-Pulsumrichter betrieben. Der Normalbetriebszustand ist in der Fig. 2 mit DASM bezeichnet.

[0024] Bei schwächer werdendem Wind kann die für die Erzeugung der Nennleistung  $P_N$  erforderliche Drehzahl  $n_N$  nicht mehr gehalten werden. Im Bereich 18 der Leistungskurve fällt daher die tatsächlich abgegebene Leistung  $P$  unter die Nennleistung  $P_N$  ab und zwar in etwa proportional zur abfallenden Drehzahl  $n$ , bis eine minimale Drehzahl erreicht ist, mit der die Windenergieanlage im Normalbetriebszustand DASM noch wirtschaftlich betrieben werden kann. Bei noch schwächeren Windstärken müsste eine Windenergieanlage ohne das erfindungsgemäße Betriebsverfahren stillgesetzt werden.

[0025] Die Erfindung ermöglicht aber den Weiterbetrieb der Windenergieanlage bei sehr schwachem Wind, durch Umschalten in einen Betriebszustand ASM, in dem der Drehstromgenerator 3 als Asynchronmaschine und der Umrichter 6 als Vollumrichter betrieben wird. Dabei wird der Stator 4 durch Öffnen des ersten Schalters 13 vom Stromnetz 8 getrennt und über den Schlupf Widerstand 14 durch Schließen des zweiten Schalters 15 kurzgeschlossen. Somit wird verhindert, dass die Eisenverluste des Stators 4 am Stromnetz 8 die gleichzeitig vom Generator erzeugte elektrische Energie überwiegen.

[0026] Wie man im Diagramm von Fig. 2 erkennen kann, fällt der Abschnitt 20 der Leistungskurve wiederum in etwa proportional mit der Drehzahl ab, allerdings mit einer flacheren Steigung als im Abschnitt 18. Dieser Betriebszustand ASM ermöglicht die wirtschaftliche Energieeinspeisung bei geschlossenem dritten Schalter 7 in das Stromnetz 8 auch noch bei sehr geringen Drehzahlen  $n$ , die bei sehr geringen Windstärken erreicht werden. Im Abschnitt 20 der Leistungskurve kann die erfindungsgemäß betriebene Windenergieanlage somit zusätzliche Energie erzeugen, die von einer auf herkömmliche Art betriebene Anlage nicht erzeugt werden kann.

[0027] Diese Energiedifferenz, die bei der herkömmlichen Windenergieanlage verloren wäre, kann unter Umständen

enorm groß werden. Die Höhe der Differenz hängt im wesentlichen von den Windverhältnissen am Standort der Anlage ab. Je größer die Zeiträume mit schwachen Windverhältnissen sind, desto größer wird die zusätzlich gewonnene Energie.

[0028] Die Drehzahlbereiche der beiden Betriebszustände ASM und DASM überschneiden sich in dem in Fig. 2 durch Strichelung angedeuteten Umschaltbereich 21. Der Umschaltpunkt kann dabei je nach dem verwendeten Steueralgorithmus mal bei etwas höheren oder etwas niedrigeren Drehzahlen  $n$  liegen. Entsprechend unterschiedlich kann daher auch die zugehörige elektrische Leistung  $P$  ausfallen. Der dritte Abschnitt 19 der Leistungskurve stellt daher nicht den tatsächlichen Verlauf dar, sondern ist lediglich als schematische Darstellung des Übergangs zu verstehen.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Turm
- 2 Propeller
- 3 Drehstromgenerator
- 4 Stator
- 5 Rotor
- 6 Umrichter
- 7 dritter Schalter
- 8 Stromnetz
- 9 Pulswechselrichter
- 10 Pulswechselrichter
- 11 Gleichspannungszwischenkreis
- 12 Steuervorrichtung
- 13 erster Schalter
- 14 Schlupf Widerstand
- 15 zweiter Schalter
- 16 Ständerkurzschluss
- 17 erster Abschnitt
- 18 zweiter Abschnitt
- 19 dritter Abschnitt
- 20 vierter Abschnitt
- 21 Umschaltbereich
- 22 mechanische Verbindung
- P elektrische Leistung
- $P_N$  Nennleistung
- $n$  Drehzahl
- $n_N$  Nenndrehzahl
- ASM Betrieb als Asynchronmaschine/Vollumrichterbetrieb
- DASM Betrieb als doppeltespeiste Asynchronmaschine/Normalbetrieb

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage mit einem Drehstromgenerator (3) mit einem Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) im Rotorkreis für einen drehzahlvariablen Generatorbetrieb, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehstromgenerator (3) bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb als doppeltespeiste Asynchronmaschine (DASM) betrieben und bei geringem Wind außerhalb seines wirtschaftlichen untersynchronen Arbeitsbereiches durch Trennen seines Stators (4) vom Stromnetz (8) und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupf Widerstand (14) zu einer einfachen Asynchronmaschine (ASM) umgeschaltet und als solche betrieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein innerhalb der Windenergieanlage vom Stator (4) zu einem Netzanschluss führendes dreiphasiges Kabel als dreiphasiger Schlupf Widerstand (14) ver-

wendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der im Normalbetrieb (DASM) als 4-Quadranten-Pulsumrichter dienende Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) des Rotors (5) zum Vollumrichter für den im Stator (4) über den Schlupf Widerstand (14) kurzgeschlossenen Drehstromgenerator (3) gemacht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuervorrichtung (12) zur Frequenz- und Spannungssteuerung zweier Pulswechselrichter (9, 10) mit Gleichspannungszwischenkreis (11) vorgesehen ist, die von der feldorientierten Regelung der Rotorerregung der doppeltgespeisten Asynchronmaschine (DASM) auf eine feldorientierte Regelung der einfachen Asynchronmaschine (ASM), deren Stator (4) über den Schlupf Widerstand (14) kurzgeschlossen ist, umgeschaltet wird.

5. Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage mit einem Drehstromgenerator (3) mit einem Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) im Rotorkreis für einen drehzahlvariablen Generatorbetrieb, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehstromgenerator (3) für die Inbetriebsetzung und/oder beim Aufbau der Windenergieanlage als Asynchronmotor betrieben wird, wobei sein Stator (4) vom Stromnetz (8) getrennt und über einen dreiphasigen Schlupf Widerstand (14) kurzgeschlossen wird.

6. Windenergieanlage mit einem Drehstromgenerator (3) mit einem Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) im Rotorkreis für einen drehzahlvariablen Generatorbetrieb, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (4) des Drehstromgenerators (3) in einem ersten Betriebszustand über einen ersten Schalter (13) mit dem Stromnetz (8) verbindbar und in einem zweiten Betriebszustand über einen zweiten Schalter (15) und einen dreiphasigen Schlupf Widerstand (14) kurzschließbar ist, so dass der Drehstromgenerator (3) bei normalen Windverhältnissen im Normalbetrieb als doppeltgespeiste Asynchronmaschine (DASM) betreibbar und bei geringem Wind außerhalb seines untersynchronen Arbeitsbereiches durch Trennen seines Stators (4) vom Stromnetz (8) und Kurzschließen desselben über einen dreiphasigen Schlupf Widerstand (14) zu einer einfachen Asynchronmaschine (ASM) umschaltbar und als solche betreibbar ist.

7. Windenergieanlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuervorrichtung zur Frequenz- und Spannungssteuerung zweier Pulswechselrichter (9, 10) mit Gleichspannungszwischenkreis (11) vorgesehen ist, die von der feldorientierten Regelung der Rotorerregung der doppeltgespeisten Asynchronmaschine (DASM) auf eine feldorientierte Regelung der einfachen Asynchronmaschine (ASM), deren Stator (4) über den Schlupf Widerstand (14) kurzgeschlossen ist, umschaltbar ist, so dass der im Normalbetrieb als 4-Quadranten-Pulsumrichter dienende Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (6) des Rotors (5) als Vollumrichter für den im Stator (4) über den Schlupf Widerstand (14) kurzgeschlossenen Drehstromgenerator (3) betreibbar ist.

8. Windenergieanlage nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der dreiphasige Schlupf Widerstand (14) ein innerhalb der Windenergieanlage vom Stator (4) zu einem Netzanschluss am Fuß des

Turms (1) führendes dreiphasiges Kabel ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

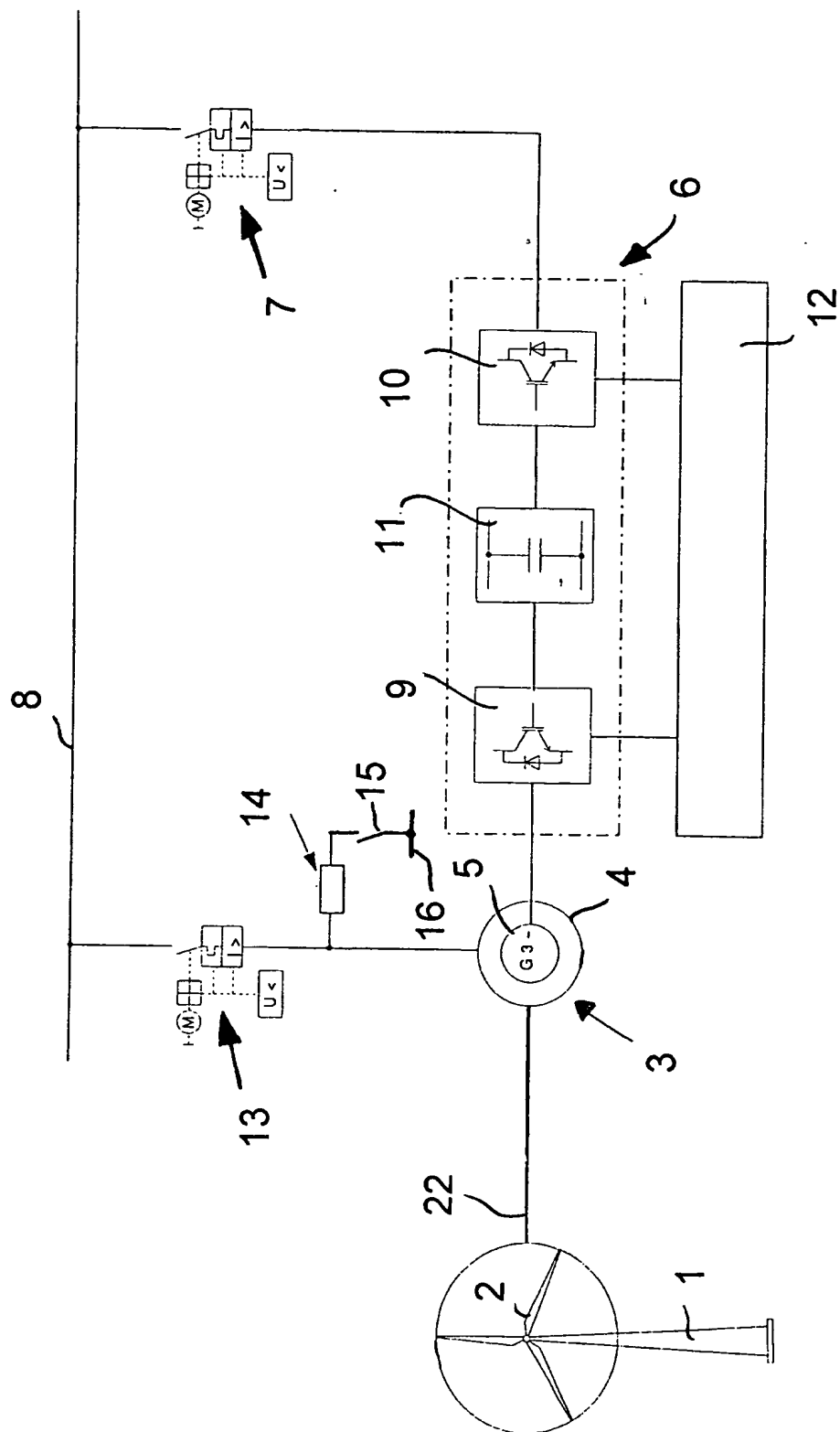


Fig. 2

